

**ALAN SULATO DE ANDRADE**

**UTILIZAÇÃO DO PILODYN PARA PREDIÇÃO DA DENSIDADE  
BÁSICA DA MADEIRA EM PLANTIOS COMERCIAIS DE  
*EUCALYPTUS spp.***

**Trabalho Final apresentado à Disciplina  
AT424 – Estágios do Curso de  
Engenharia Industrial Madeireira, Setor  
de Ciências Agrárias, Universidade  
Federal do Paraná, como requisito  
parcial para a conclusão do Curso.**

**Orientador: Prof. Dr. Umberto Klock**

**Co-Orientador: Profa. Dra. Graciela  
Inês Bolzon Muñiz**

**Supervisor: Dária Pimenta de Oliveira**

**CURITIBA**

**2004**

**ALAN SULATO DE ANDRADE**

**UTILIZAÇÃO DO PILODYN PARA PREDIÇÃO DA DENSIDADE  
BÁSICA DA MADEIRA EM PLANTIOS COMERCIAIS DE  
*EUCALYPTUS spp.***

**Trabalho Final apresentado à Disciplina  
AT424 – Estágios do Curso de  
Engenharia Industrial Madeireira, Setor  
de Ciências Agrárias, Universidade  
Federal do Paraná, como requisito  
parcial para a conclusão do Curso.**

**Orientador: Prof. Dr. Umberto Klock**

**Co-Orientador: Profa. Dra. Graciela  
Inês Bolzon Muñiz**

**CURITIBA**

**2004**

## **AGRADECIMENTOS**

À empresa International Paper do Brasil Ltda. – Chamflora Mogi Guaçu Agroflorestal Ltda., pela oportunidade, estrutura e apoio para a realização deste estágio. Em especial aos pesquisadores: Dária Pimenta de Oliveira, Mauricio B. Penteado e Humberto Fantuzzi Neto.

À Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia Industrial madeireira pela formação acadêmica.

Aos meus orientadores Umberto Klock e Graciela Inês Bolzon Muñiz, pela amizade, incentivo, apoio, confiança e compreensão durante todo o trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), pelo apoio.

A minha namorada, Ana Paula Dalla-Côrte, que sempre está ao meu lado em todos os momentos, dizendo sempre que sou capaz conseguir tudo que realmente quero e acredita na minha capacidade.

À todos os amigos que, direta ou indiretamente, ajudaram no desenvolvimento do estudo, em especial a equipe do Laboratório de Qualidade da Madeira.

Compartilho com todos esta vitória.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	5
LISTA DE TABELAS .....	6
1 INTRODUÇÃO .....	7
2 OBJETIVOS .....	10
2.1 OBJETIVO GERAL .....	10
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO .....	10
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	11
3.1 ESPÉCIE ESTUDADA .....	11
3.2 DENSIDADE DA MADEIRA .....	12
3.2.1 VARIAÇÃO DA DENSIDADE DA MADEIRA .....	13
3.2.2 MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA .....	14
3.3 PILODYN .....	16
4 MATERIAL E MÉTODOS .....	19
4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	19
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS .....	20
4.3 CARACTERÍSTICAS DO POVOAMENTO .....	20
4.4 UTILIZAÇÃO DO PILODYN .....	22
4.5 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA .....	25
4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	28
5.1 MODELOS PARA A ESTIMATIVA DA DENSIDADE BÁSICA .....	28
5.1.1 DENSIDADE BÁSICA EM FUNÇÃO DO PILODYN .....	28
5.1.2 DENSIDADE BÁSICA EM FUNÇÃO DO PILODYN, IDADE, DIAMETRO Á ALTURA DO PEITO E ALTURA TOTAL DAS ÁRVORES .....	31
6 CONCLUSÕES .....	34
7 RECOMENDAÇÕES .....	35
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	36

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Localização esquemática das áreas de estudo. ....	19
FIGURA 2 – Exemplificação de uma área de estudo. ....	20
FIGURA 3 – Utilização do Hipsometro para a determinação da altura total das árvores. ....	21
FIGURA 4 – Utilização da Suta para a determinação do DAP das árvores. ....	21
FIGURA 5 – Pilodyn 6J Forest, utilizado no estudo. ....	23
FIGURA 6 – Remoção da casca na região onde foram efetuada as batidas com o equipamento Pilodyn. ....	23
FIGURA 7 – Posicionamento do equipamento Pilodyn para efetuar as batidas. ....	24
FIGURA 8 – Realização de duas batidas em sentidos opostos a 1,3 m de altura em relação ao solo. ....	24
FIGURA 9 – Determinação da profundidade de penetração do pino na escala do equipamento Pilodyn. ....	25
FIGURA 10 – Trado de Incremento utilizado para retirada das baguetas para determinação da densidade básica da madeira. ....	26
FIGURA 11 – Retirada das baguetas a 1,3m de altura em relação ao solo. ....	26
FIGURA 12 – Sobreposição gráfica das densidades básicas observadas e estimadas pela equação ajustada para o modelo linear simples. ....	29
FIGURA 13 – Sobreposição gráfica das densidades básicas observadas e estimadas pela equação ajustada para o modelo linear múltiplo. ....	32

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Alturas ideais em que a densidade básica da árvore deve ser tomada, definidas por diferentes autores em diferentes trabalhos para várias espécies do gênero <i>Eucalyptus</i> . ....	15
TABELA 2 – Listagem de trabalhos que utilizaram o equipamento Pilodyn como teste não destrutivo para estimativa da densidade básica para diversas espécies do gênero <i>Eucalyptus</i> . ....	17
TABELA 3 – Dados técnicos do equipamento Pilodyn 6J Forest segundo o fabricante. ....	22
TABELA 4 – Parâmetros estimados e medidas de precisão da equação ajustada para o modelo linear simples. ....	29
TABELA 5 – Parâmetros estimados e medidas de precisão da equação ajustada para o modelo linear múltiplo. ....	32

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo estimativas, para o ano de 2003, a produção brasileira de pasta e celulose deverá alcançar 9 milhões de toneladas e de papel 7,9 milhões de toneladas, registrando um crescimento sobre 2002 de 12,2% e 1,6%, respectivamente. Ainda para 2003, o setor prevê exportações da ordem de US\$ 3,1 bilhões, com superávit projetado de US\$ 2,5 bilhões. (BRACELPA, 2003).

Com o crescimento da produção de celulose e papel, as indústrias devem ser cada vez mais eficientes, quanto aos processos industriais empregados e aos empreendimentos florestais, pois estes devem se basear no planejamento da produção durante um longo prazo, utilizando informações seguras, precisas e diretamente relacionadas ao produto que se deseja obter. Assim, se o objetivo do empreendimento for produzir madeira para a obtenção de celulose e produção de papel, informações sobre a densidade da madeira, teor de lignina, teor de extrativos e dimensões das fibras entre outros serão pertinentes. (THIERSCH *et al.*, 2003).

Desta forma, pode-se considerar que, ao se utilizar informações mais específicas sobre a qualidade da madeira, diversas atividades de base florestal serão mais eficazes em suas operações (THIERSCH, 2002).

Diversos autores consideram a densidade como um bom parâmetro de qualidade da madeira (BROWN, 1970, MALAN *et al.*, 1996, citados por REZENDE *et al.*, 1998, FOEKEL *et al.* 1990 e 1992, citados por THIERSCH 2002).

Conseqüentemente esta característica é altamente desejável em programas de melhoramento genético em combinação com outros fatores. Muitos programas de melhoramento genético têm a densidade como critério de seleção (ZOBEL e JETT, 1995 citado por HANSEN, 2000).

Entretanto, a determinação tradicional da densidade da madeira possui algumas desvantagens, por exemplo, algumas determinações requerem o que é chamado de amostragem destrutiva, isto acarreta a derrubada das árvores para retirada dos discos para serem analisados, trazendo a completa destruição do material genético, ou então, quando é realizada a amostragem não destrutiva por meio de baguetas retiradas com o auxílio de um trado de incremento, esta operação envolve um aumento considerável no risco de infestação por pragas e doenças para as árvores. Ambas os tipos de amostragens introduzem um lapso de tempo do qual atrasa a análise e a aplicação experimental dos resultados.

Atualmente existem equipamentos, por exemplo, densímetros por raios gama que proporcionam informações confiáveis utilizando amostras destrutivas e não destrutivas, porém estes são ainda instrumentos de alto custo (HODGE e PURNEL, 1993; MUNERI e BOLODIS, 1998, citados por LÓPEZ e STAFFIERI, 2002).

Não obstante, um equipamento denominado Pilodyn vem sendo utilizado para determinação indireta da densidade da madeira em algumas espécies comerciais, devido à rapidez, facilidade e precisão em sua utilização (LÓPEZ e STAFFIERI, 2002, HANSEN, 2000).



Desta forma, para que a densidade básica da madeira possa ser usada de forma exeqüível no sistema de planejamento florestal de uma empresa, a hipótese a ser confirmada é que esta variável possa ser determinada de forma rápida, precisa e com um baixo custo.

Para isso a densidade da madeira deverá ser correlacionada com variáveis de fácil determinação, por exemplo, características dos povoamentos e, também, com características tecnológicas da madeira facilmente mensuráveis.

Dentre as variáveis do povoamento, pode-se destacar a idade, o diâmetro à altura do peito (DAP), altura total das árvores a capacidade produtiva das áreas de cada plantio. Dentre as variáveis tecnológicas a resistência da madeira à penetração da agulha do Pilodyn.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Este trabalho tem por objetivo geral avaliar a utilização do equipamento Pilodyn na predição da densidade básica da madeira em plantios comerciais de *Eucalyptus spp.*, tornando as decisões tomadas muito mais seguras e eficazes.

### **2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO**

- Obter modelos matemáticos para a estimativa da densidade básica.
- Avaliar a contribuição das características do povoamento no ajuste do modelo matemático.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 ESPÉCIE ESTUDADA

As árvores do gênero *Eucalyptus* pertencem à família Myrtaceae, sendo conhecidas aproximadamente 700 espécies, com diversas variedades e híbridos naturais e artificiais. Compreendem desde árvores de grande porte (100 m de altura) até pequenos arbustos ornamentais (MANGIERI & DIMITRI, 1971, citados por BERGER, 2002).

As espécies deste gênero tiveram sua origem na Austrália e regiões próximas, confinadas essencialmente a um único continente, na faixa compreendida entre latitudes 9° Norte e 44° Sul (ELDRIDGE *et al.*, 1994, citados por GONZÁLEZ, 2002).

O gênero *Eucalyptus* é plantado atualmente na maioria das regiões de clima tropical e subtropical do mundo, entre as latitudes de 40° Norte e 45° Sul, pois é um gênero que possui espécies adaptadas a diversas condições de clima e solo. Os maiores produtores mundiais são Brasil, Índia, África do Sul, Portugal, Angola, Espanha e China. Entre as centenas de espécies do gênero *Eucalyptus*, cerca de trinta têm mostrado potencial para cultivos de alta produtividade (GONZÁLEZ, 2002).

MANGIERI & DIMITRI (1971), citados por BERGER (2002), destacam que este é o gênero que adquiriu maior importância nos plantios comerciais na América do Sul, dada a sua grande variedade de espécies e boa adaptação em países de clima temperado, tropical e subtropical.

No Brasil, mais especificamente na região Centro-Sul do país, o gênero *Eucalyptus* tem sido utilizado como principal fonte de matéria-prima para a indústria de celulose e papel, desde meados deste século. Isto é devido à sua ampla capacidade de adaptação, seu rápido crescimento, alta produtividade e qualidade dos produtos obtidos a partir da sua madeira (VALERA & KAGEYAMA, 1988, citados por BERGER, 2002).

### **3.2 DENSIDADE DA MADEIRA**

A densidade foi certamente a primeira das propriedades físicas da madeira a serem estudadas. Neste sentido, é necessário constar que E. CHEVANDIER e G. WERTHEIM em Paris foram os primeiros autores que publicaram um estudo "*Memoire sur les proprietés mécaniques du bois*" sobre a densidade da madeira no final do século XVIII e começo do século XIX (KOLLMANN, 1959).

No Brasil, os primeiros trabalhos sobre variabilidade da densidade básica foram desenvolvidos por FERREIRA (1968), citado por BERGER (2002). O autor observou que existia alta variação na densidade da madeira entre as diferentes espécies e árvores da mesma espécie.

A densidade é uma característica resultante da interação entre as propriedades químicas e anatômicas da madeira, portanto, as variações na densidade são provocadas por diferenças nas dimensões celulares, das interações entre esses fatores e pela quantidade de componentes estranhos presentes por unidade de volume (PANSHIN e DeZEEUW, 1980, citados por TRUGILHO *et al.*, 1996).

KOLLMANN (1959), ressalta a importância da densidade da madeira, pois esta serve como referência de qualidade, podendo ser também um fator de decisão para a utilização da madeira.

SHIMOYAMA (1990), citado por BERGER, (2002), comenta a importância da densidade básica no rendimento e no custo dos processos de produção de polpa celulósica, pois para espécies que possuem alta densidade, há uma menor dificuldade de manuseio por haver menor volume de toras e cavacos para uma mesma quantidade de massa. Assim, a capacidade da unidade de cozimento é aumentada em massa com o aumento da densidade básica, levando a um aumento do potencial de produção da indústria. Porém, o aumento do valor de densidade básica é acompanhado por uma maior dificuldade no processo de picagem das toras, o aumento no consumo de reagentes, dificultando a impregnação e a deslignificação e levando a uma maior quantidade de rejeitos no processo de polpação.

Para a indústria de celulose e papel, a avaliação adequada da densidade básica proporciona uma indicação do rendimento do processo de obtenção de polpa, além do comportamento de algumas propriedades físico-mecânicas da polpa resultante (BUSNARDO *et al.*, 1983, citados por BERGER, 2002).

### **3.2.1 VARIAÇÃO DA DENSIDADE DA MADEIRA**

As variações na densidade estão relacionadas primeiramente às diferenças na estrutura da madeira e em segundo plano, à presença de constituintes estranhos, tendências hereditárias, influências fisiológicas e mecânicas, assim como fatores ambientais afetam a estrutura da madeira (KOLLMANN & CÔTÉ, 1968, citados por BERGER, 2002).

De acordo com SOUZA *et al.* (1979), citados por BERGER (2002), no gênero *Eucalyptus*, a densidade pode variar com o local de plantio, com a idade da árvore e com a taxa de crescimento.

MIGLIORINI (1986), citado por REZENDE (1998), estudando a madeira do *Eucalyptus grandis* concluiu haver diferenças significativas entre a densidade da madeira e níveis de produtividade selecionados no povoamento.

Além disso, FERREIRA & KAGEYAMA (1978), citados por BERGER (2002), afirmam que a densidade da madeira também varia significativamente entre árvores de uma mesma população, sendo esta variação mais importante do que as variações entre populações de uma mesma localidade ou de localidades diferentes.

FOELKEL *et al.* (1992), citados por TRUGILHO *et al.*, (1996), em seus estudos com *Eucalyptus sp.*, afirmam que as densidades mais elevadas estavam localizadas próximo à casca, atribuindo este resultado ao fato do câmbio se especializar com a idade na formação de madeiras mais densas.

A variação da densidade básica no sentido radial, geralmente, é crescente, isto é, aumenta gradativamente do cerne para o alburno (FOELKEL *et al.*, 1983, citados por TRUGILHO *et al.*, 1996).

Para o gênero *Eucalyptus*, a variação da densidade com a altura não são claras. Alguns autores mostraram uma tendência de diminuição e outros, uma diminuição seguida de um novo aumento de forma totalmente irregular (VALE *et al.*, 1992; VALE *et al.*, 1995, citados por REZENDE *et al.*, 1998).

### **3.2.2 MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA**

A determinação da densidade básica da madeira é um dos principais ensaios tecnológicos realizados em madeiras de plantações comerciais para o gênero *Eucalyptus*, sendo reconhecida como um dos mais importantes parâmetros para a avaliação da qualidade da madeira. É também um importante índice para análises econômicas da floresta, para fins práticos, determinar o uso final da madeira (THIERSCH, 2002).

A determinação da densidade básica através de uma amostra extraída de um ponto fixo, para a estimativa da densidade básica média da árvore, foi sugerida por MADDERN (1965) e FERREIRA (1970), citados por THIERSCH (2002).

Na TABELA 1 são apresentadas as alturas ideais de amostragem da densidade básica, para várias espécies do gênero *Eucalyptus* em diferentes trabalhos.

TABELA 1 – Alturas ideais em que a densidade básica da árvore deve ser tomada, definidas por diferentes autores em diferentes trabalhos para várias espécies do gênero *Eucalyptus*.

TRABALHOS	ESPÉCIES	ALTURA
*FRANCO (1996)	<i>E. camaldulensis</i>	1,0 m
*FERREIRA (1968, 1970 e 1972)	<i>E. grandis</i> , <i>E. alba</i> , <i>E. saligna</i>	1,3 m
*BRASIL (1972, 1979)	<i>E. propinqua</i> , <i>E. grandis</i>	1,3 m
*VALERI <i>et al.</i> (1990)	<i>E. grandis</i>	1,3 m ou 25% Hc
GREAVES <i>et al.</i> (1995),	<i>E. nitens</i>	1,3 m

\* – Autores citados por THIERSCH (2002),

Hc – Altura comercial.

O método do máximo teor de umidade baseia-se na relação existente entre a densidade básica e o máximo teor de umidade da madeira. A densidade básica é determinada sem haver a necessidade de se determinar o volume da amostra. Para tanto a amostra deve estar completamente saturada. Por causa da dificuldade de se saturar completamente amostras de maior dimensão, o método deve ser aplicado em amostras com um volume máximo de 3.000 mm<sup>3</sup> (SIF, 1984).

Quando se pretende determinar a densidade básica, o volume de madeira deve ser determinado a teores de umidade acima do ponto de saturação das fibras. Para se obter a densidade básica, há também a necessidade de se determinar o peso seco da madeira. Para tanto, as amostras devem ser colocadas em uma estufa aquecida a  $103 \pm 2$  °C até peso constante. Admite-se que a madeira tenha adquirido peso constante quando, após um intervalo de 24 horas, a alteração do peso for inferior a 0,05%.

O cálculo da densidade básica é feito pela seguinte fórmula, conforme proposto por FOELKEL *et al.* (1972), citados por SIF (1984):

$$\rho b = \left( \frac{1}{\frac{PU}{PS} - 0,346} \right) * 1000$$

Onde:

$\rho b$  = Densidade básica (Kg/m<sup>3</sup>),

PU = Peso da amostra saturada (g),

PS = Peso da amostra completamente seca (g).

### 3.3 PILODYN

O Pilodyn é um instrumento desenvolvido originalmente na Suíça, para avaliar o grau de podridão da madeira em postes de transmissão (HANSEN, 2000).

O aparelho relaciona a profundidade de penetração de uma agulha de aço injetada, a uma força constante em uma região da árvore, com a densidade da madeira (COWN, 1978 e 1979, citado por THIERSCH, 2002).



PROCEQ (1999), descreve que devido à rapidez e a facilidade das amostragens é possível realizar estudos em grande escala e em números estatísticos representativos para um povoamento. O mesmo autor indica a possibilidade de estudos comparando a evolução da densidade em função do clima, da altitude, da topografia e das características do solo.

Na TABELA 2, são apresentados alguns trabalhos que utilizaram o Pilodyn como teste não destrutivo visando a estimativa da densidade básica para diversas espécies do gênero *Eucalyptus*.

TABELA 2 – Listagem de trabalhos que utilizaram o equipamento Pilodyn como teste não destrutivo para estimativa da densidade básica para diversas espécies do gênero *Eucalyptus*.

TRABALHOS	ESPÉCIES
THIERSCH (2002)	<i>Eucalyptus sp.</i>
*CHAPOLA (1994)	<i>Eucalyptus sp.</i>
*MOURA <i>et al.</i> (1987)	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>
*MACDONALD <i>et al.</i> (1997)	<i>Eucalyptus globulus ssp. globulus</i>
*VALE <i>et al.</i> (1995)	<i>Eucalyptus grandis</i>
*GREAVES <i>et al.</i> (1996)	<i>Eucalyptus nitens</i>
*BOUVET e VIGNERON (1996)	<i>Eucalyptus urophylla x E. grandis</i>

\* – Autores citados por HANSEN, (2000),

VALE *et al.* (1983), citados por THIERSCH (2002), estudando o comportamento da densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis*, em função da profundidade de penetração do Pilodyn a 1,3 m do solo e da classe diamétrica, sugeriram a possibilidade de uso do método para ordenar grupos de árvores por classe de densidade básica.

Diversos autores avaliaram a correlação genética existente entre o Pilodyn e a densidade da madeira para diversas espécies. LÓPEZ e STAFFIERI (2002) avaliando *Pinus elliottii* var. *elliottii* detectaram uma forte correlação genética negativa entre o Pilodyn e a densidade da madeira, sugerindo a incorporação de medições realizadas com o equipamento para a diferenciação de famílias e grupos de indivíduos de alta, média e baixa densidade proporcionando suporte a programas de melhoramento genético para a espécie. O mesmo foi observado por GREAVES (1995) estudando *Eucalyptus nitens* e por SILVA (1997) com *Picea sitchensis*.

Segundo MICKO *et al.* (1982), citados por THIERSCH (2002), para o uso adequado do Pilodyn devem ser tomados algumas precauções, como por exemplo, o Pilodyn deve ser apertado firmemente contra o tronco para evitar o recuo ou movimento do instrumento e o local de amostragem deve ser livre de alterações visíveis da madeira normal, como nós, bolsas de resinas, feridas, etc.

Estes mesmos autores observaram que várias árvores de *Picea glauca* apresentaram variação significativa da densidade até mesmo de lado para lado da mesma árvore, o que, na prática, segundo os autores, mostra a necessidade de leituras múltiplas de cada árvore de pelo menos dois lados opostos da circunferência, para se obter valor da densidade da madeira mais representativo.

ROSADO (1982), citado por THIERSCH (2002), testando a aplicabilidade do Pilodyn na avaliação da densidade básica da madeira de árvores em pé, concluiu que, para propósito de seleção massal de árvores, visando a futuro programas de melhoramento genético de densidade básica de *Eucalyptus urophylla*, o Pilodyn poderá ser empregado para prever os valores dessa característica, propiciando considerável ganho de tempo, graças à sua facilidade e rapidez de manuseio.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os dados para este estudo foram obtidos em plantios comerciais de *Eucalyptus spp.*, de propriedade da empresa International Paper do Brasil Ltda. – Chamflora Mogi Guaçu Agroflorestal Ltda., localizados na região de Mogi Guaçu no estado de São Paulo. A FIGURA 1 demonstra esquematicamente a localização das áreas de estudo.

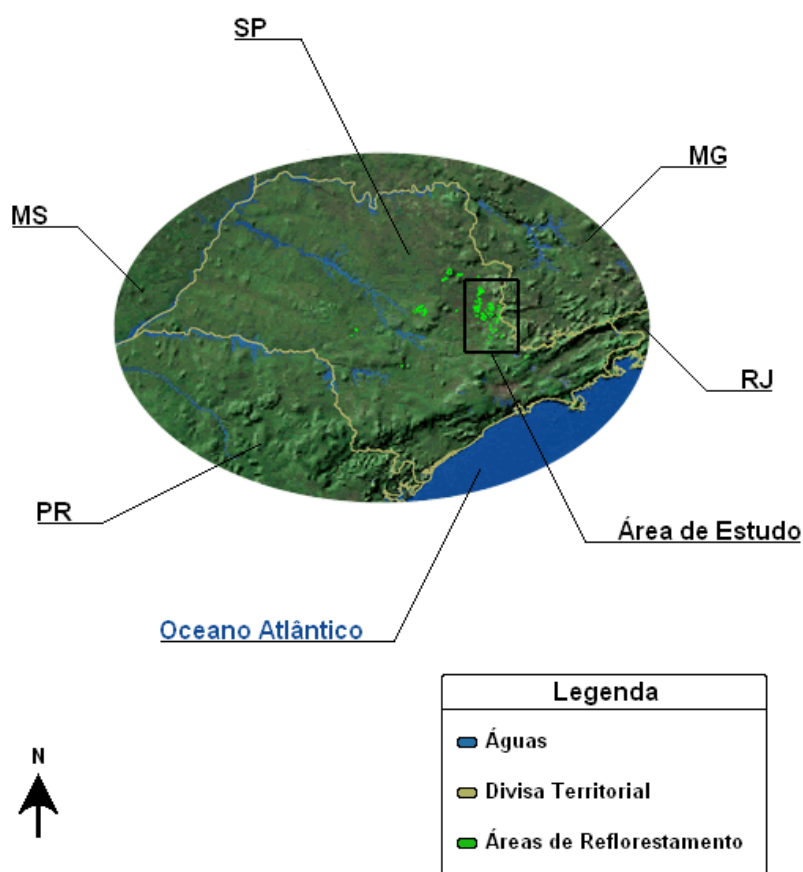


FIGURA 1 – Localização esquemática das áreas de estudo.

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS

Para o estudo foram utilizadas 450 (quatrocentas e cinquenta) árvores amostradas de diferentes idades, em inventário realizado durante o ano de 2000, contendo material genético proveniente de clones e de sementes de 10 (dez) hortos distintos, abrangendo 2 (dois) ambientes de produção e 5 (cinco) unidades de manejo, representando uma área total de mais de 20.000 ha de área plantada. Os ambientes de produção são classificados mediante aos agrupamentos de clima e relevo e as unidades de manejo são classificadas mediante a solos homogêneos.



FIGURA 2 – Exemplificação de uma área de estudo.

## 4.3 CARACTERÍSTICAS DO POVOAMENTO

Informações como idade das árvores, ambientes de produção e unidades de manejo foram retiradas do sistema florestal da empresa e outros como altura total e DAP foram determinados em campo com o auxílio de equipamentos como demonstra as FIGURAS 3 e 4.



FIGURA 3 – Utilização do Hipsometro para a determinação da altura total das árvores.



FIGURA 4 – Utilização da Suta para a determinação do DAP das árvores.

#### 4.4 UTILIZAÇÃO DO PILODYN

O equipamento utilizado no estudo foi o Pilodyn 6J Forest, fabricado pela empresa PROCEQ SA na Suíça. Os dados técnicos do equipamento estão descritos na TABELA 3.

O equipamento Pilodyn pode ser usado com pino de diâmetro de 2,0 mm ou 2,5 mm. A escolha do diâmetro do pino dependerá da espécie. O pino de 2,0 mm possui uma penetração mais profunda na madeira do que o pino de 2,5 mm. Para espécies com densidades moderadas e altas é recomendada a utilização do pino de 2,0 mm, facilitando assim a penetração do pino do equipamento no tronco da árvore a ser analisada. Já para espécies com baixa densidade o fabricante recomenda a utilização do pino mais espesso.

TABELA 3 – Dados técnicos do equipamento Pilodyn 6J Forest segundo o fabricante.

DADOS TÉCNICOS	PILODYN 6J FOREST
Força de penetração	6 J (N.m)
Profundidade de penetração	0 – 40 mm
Diâmetro do pino de penetração	2,0 mm
Diâmetro do equipamento	50 mm
Comprimento do equipamento	420 mm
Peso do equipamento	1.250 Kg

O equipamento Pilodyn e seus componentes utilizados no estudo podem ser visualizados na FIGURA 5.





FIGURA 5 – Pilodyn 6J Forest, utilizado no estudo.

Houve a necessidade da remoção da casca na região onde foram feitas as batidas com o equipamento, pois a casca pode interferir nos resultados (FIGURA 6).



FIGURA 6 – Remoção da casca na região onde foram efetuada as batidas com o equipamento Pilodyn.

Foram realizadas duas batidas em sentidos opostos do tronco de cada árvore selecionada conforme demonstrado nas FIGURAS 7, 8 e 9. As batidas com o Pilodyn foram efetuadas a 1,3 m de altura em relação ao solo.



FIGURA 7 – Posicionamento do equipamento Pilodyn para efetuar as batidas.



FIGURA 8 – Realização de duas batidas em sentidos opostos a 1,3 m de altura em relação ao solo.





FIGURA 9 – Determinação da profundidade de penetração do pino na escala do equipamento Pilodyn.

#### 4.5 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA

Das árvores selecionadas foram retiradas baguetas com o auxílio de trado de incremento a 1,3 m de altura do solo (FIGURAS 10 e 11). Todas as baguetas foram devidamente codificadas e transportadas até o Laboratório de Qualidade da Madeira. As amostras foram submersas em água para completa saturação. O controle da absorção de água foi feito através de pesagens sucessivas das amostras. O processo foi encerrado quando não houve diferença significativa nos pesos das amostras após um período de 24 horas.

Em seguida foi removido o excesso de água contida na superfície das amostras, e foi determinado seu peso ao ar em balança de precisão. As amostras em seguida foram colocadas em estufa a uma temperatura de  $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  até atingirem peso constante e logo em seguida foram determinados seus pesos secos.

O cálculo da densidade foi realizado utilizando o método do máximo teor de umidade.



FIGURA 10 – Trado de Incremento utilizado para retirada das baguetas para determinação da densidade básica da madeira.



FIGURA 11 – Retirada das baguetas a 1,3m de altura em relação ao solo.

## **4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA**

Os modelos foram construídos no Software STATISTICA Versão 6.0, por regressões lineares através do método Stepwise, e a partir destes foram avaliados o coeficiente de determinação corrigido ( $R^2$ ) em percentagem (%), o desvio padrão dos resíduos (Syx) em percentagem (%) e na escala real ( $\text{Kg/m}^3$ ) e a análise gráfica da sobreposição da variável dependente, observada e estimada.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1 MODELOS PARA A ESTIMATIVA DA DENSIDADE BÁSICA**

Utilizando o universo de dados do estudo foram construídos e selecionados dois modelos: o primeiro relacionando a densidade básica da madeira em função somente da profundidade de penetração do Pilodyn e o segundo relacionando a densidade básica da madeira em função da profundidade de penetração do Pilodyn, idade, diâmetro à altura do peito e a altura total das árvores.

#### **5.1.1 DENSIDADE BÁSICA EM FUNÇÃO DO PILODYN**

O modelo  $\rho_b = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{PIL}$  foi o escolhido dentre várias alternativas de modelos lineares simples, em que  $\rho_b$  corresponde a densidade básica da madeira estimada em  $\text{Kg/m}^3$ , os  $\beta_n$  correspondem aos parâmetros do modelo e PIL corresponde à medida com o equipamento Pilodyn em mm. Este modelo foi selecionado como aquele que apresentou as mais precisas estimativas da densidade básica da madeira em função somente da profundidade de penetração do Pilodyn.

As estimativas dos parâmetros do modelo e as medidas de precisão para estimar a densidade básica da madeira estão demonstrados na TABELA 4. Já na FIGURA 12, são apresentadas as sobreposições gráficas das densidades básicas observadas e estimadas no estudo.

TABELA 4 – Parâmetros estimados e medidas de precisão da equação ajustada para o modelo linear simples.

EQUAÇÃO	R <sup>2</sup>	Syx	Syx
	(%)	(%)	(Kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_b = 619,083 - 12,937 \cdot \text{PIL}$	57,50	27,63	120

$\rho_b$  – Densidade Básica da Madeira (Kg/m<sup>3</sup>); PIL – Medida do Pilodyn a 1,3m (mm); R<sup>2</sup> - Coeficiente de Determinação Corrigido e Syx – Desvio Padrão dos Resíduos.

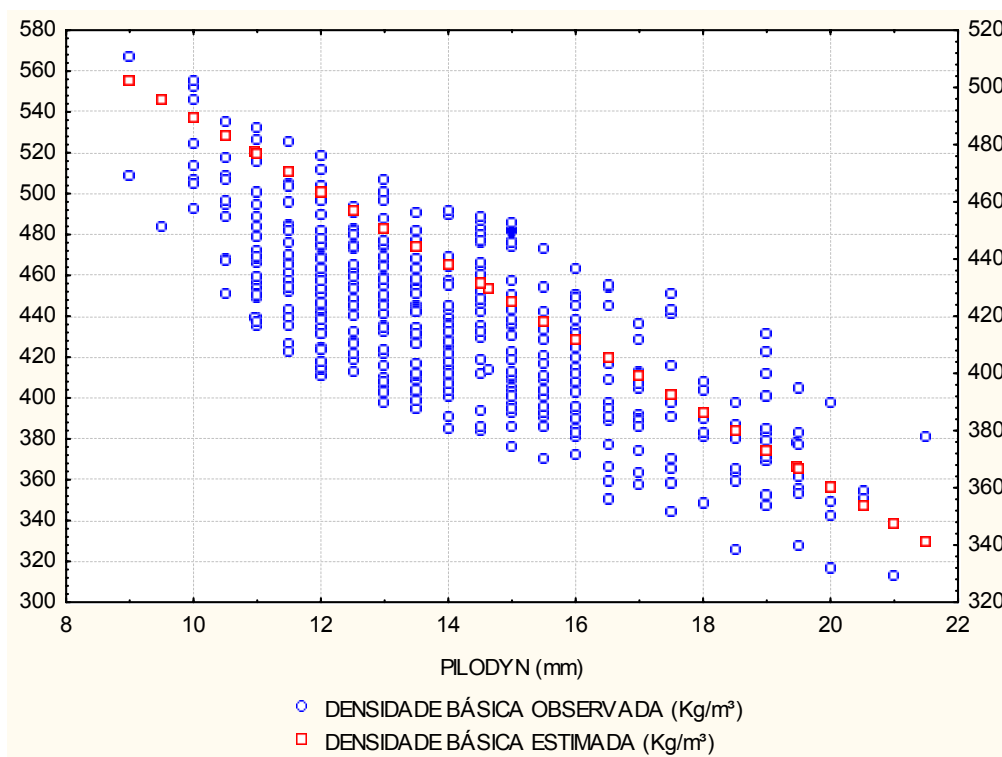


FIGURA 12 – Sobreposição gráfica das densidades básicas observadas e estimadas pela equação ajustada para o modelo linear simples.

A estimativa da densidade básica da madeira em função somente das medidas com a profundidade de penetração da agulha do Pilodyn, mostrou ser pouco eficiente, pois o modelo apresentou medidas de precisão pouco atraentes. Os valores encontrados no estudo para o coeficiente de determinação corrigido ( $R^2 = 57,50\%$ ) e o desvio padrão dos resíduos ( $Syx = 27,63\%$ ) demonstram ser bem inferiores quando comparados com resultados de THIERSCH (2002) estudando clones de *Eucalyptus sp.* ( $R^2 = 75\%$  e  $Syx = 2,7\%$ ).

Pode-se observar na FIGURA 12, que os valores estimados para a densidade básica da madeira apresentaram uma tendência definida de ser inversamente proporcional a profundidade de penetração da agulha do Pilodyn, embora não tenham conseguido se sobreporem totalmente os valores de densidade básica observados.

Porém a grande variação da densidade básica para uma mesma resposta frente à penetração da agulha do Pilodyn acarretou em uma grande variação do desvio padrão dos resíduos, cerca de  $120 \text{ Kg/m}^3$ .

Pode-se afirmar então que as árvores que demonstraram alta resistência à penetração da agulha do Pilodyn apresentaram maior densidade básica em sua madeira.

### 5.1.2 DENSIDADE BÁSICA EM FUNÇÃO DO PILODYN, IDADE, DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO E ALTURA TOTAL DAS ÁRVORES

Como já demonstrado na seção anterior, a hipótese de que a densidade básica da madeira possa ser determinada, considerando apenas a medida com o Pilodyn, não é a alternativa mais precisa. Foi então construído o modelo em função da profundidade de penetração do Pilodyn e das características do povoamento, a fim de melhorar as medidas de precisão e assim contribuir para um melhor ajuste no modelo para determinação da densidade básica da madeira.

O modelo  $\rho_b = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{PIL} - \beta_2 \cdot (\text{DAP}/I^2) + \beta_3 \cdot (1/\text{PIL}^2) - \beta_4 \cdot (1/\text{PIL}) - \beta_5 \cdot (\text{PIL}/\text{DAP}^2) - \beta_6 \cdot H + \beta_7 \cdot (I/H^2) + \beta_8 \cdot (1/H^2) + \beta_9 \cdot \text{DAP} + \beta_{10} \cdot \text{LOG}(H) + \beta_{11} \cdot (H/I^2) + \beta_{12} \cdot (1/\text{DAP}) - \beta_{13} \cdot (1/I^2) + \beta_{14} \cdot (1/I)$  foi o determinado através do método Stepwise, onde  $\rho_b$  corresponde a densidade básica da madeira estimada em  $\text{Kg/m}^3$ , os  $\beta_n$  correspondem aos parâmetros do modelo, PIL corresponde à medida com o equipamento Pilodyn em mm, DAP o diâmetro à altura do peito em cm, I a idade em anos e H sendo a altura total das árvores em metros. Este modelo foi selecionado como aquele que apresentou as mais precisas estimativas da densidade básica da madeira em função do Pilodyn e das variáveis do povoamento estudado.

As estimativas dos parâmetros para este modelo e as medidas de precisão para estimar a densidade básica da madeira estão demonstrados na TABELA 5. Já na FIGURA 13, são apresentadas as sobreposições gráficas das densidades básicas observadas e estimadas no estudo.

TABELA 5 – Parâmetros estimados e medidas de precisão da equação ajustada para o modelo linear múltiplo.

EQUAÇÃO	R <sup>2</sup> (%)	Syx (%)	Syx (Kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_b = 1485,015 - 35,282 \cdot \text{PIL} - 37,282 \cdot (\text{DAP}/I^2) +$ $80183,160 \cdot (1/\text{PIL}^2) - 16434,738 \cdot (1/\text{PIL}) -$ $100,665 \cdot (\text{PIL}/\text{DAP}^2) - 11,905 \cdot H + 0,004 \cdot (I/H^2) +$ $0,059 \cdot (1/H^2) + 4,194 \cdot \text{DAP} + 93,283 \cdot \text{LOG}(H) + 57,640 \cdot (H/I^2)$ $+ 1181,120 \cdot (1/\text{DAP}) - 851,043 \cdot (1/I^2) + 421,777 \cdot (1/I)$	66,03	24,62	100

$\rho_b$  – Densidade Básica da Madeira (Kg/m<sup>3</sup>); PIL – Medida do Pilodyn a 1,3m (mm); DAP – Diâmetro à Altura do Peito (cm); I – Idade (anos); H – Altura Total das Árvores (m); R<sup>2</sup> - Coeficiente de Determinação Corrigido e Syx – Desvio Padrão dos Resíduos.

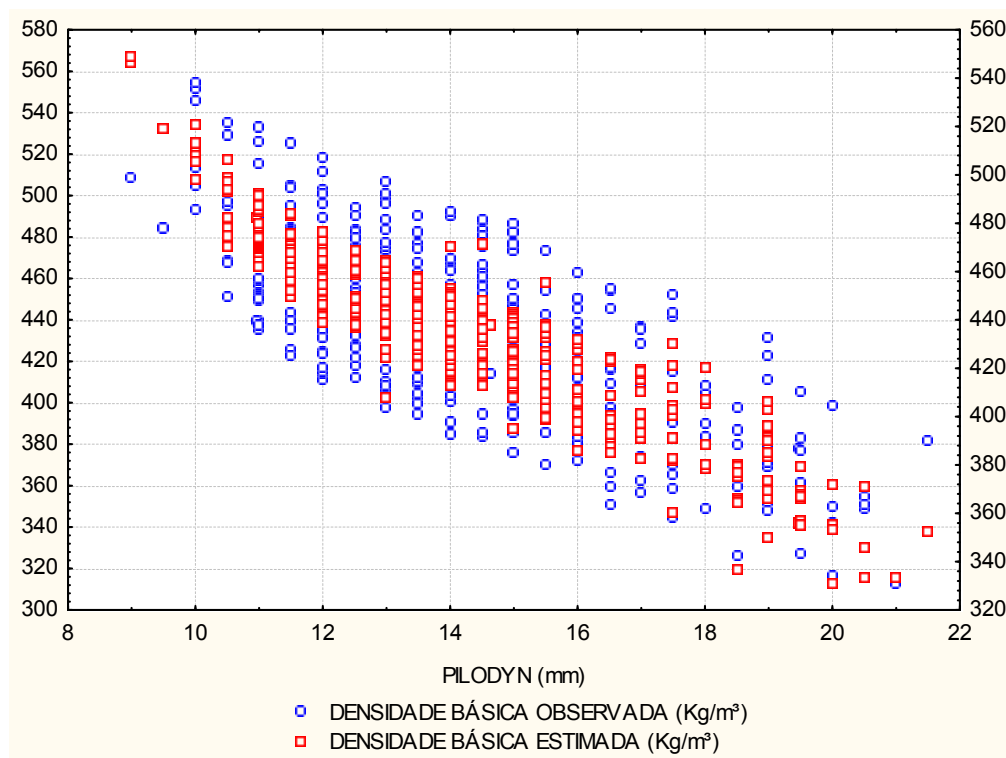


FIGURA 13 – Sobreposição gráfica das densidades básicas observadas e estimadas pela equação ajustada para o modelo linear múltiplo.



Ao observar a TABELA 5 nota-se que o valor do coeficiente de determinação corrigido ( $R^2 = 66,03\%$ ) é consideravelmente superior ao da TABELA 4 e que os valores de desvio padrão dos resíduos ( $S_{yx} = 100 \text{ Kg/m}^3$ ) são também inferiores aos da TABELA 4.

Novamente, pode-se observar na FIGURA 13, que os valores estimados para a densidade básica da madeira apresentaram uma tendência definida de ser inversamente proporcional a profundidade de penetração da agulha do Pilodyn, sendo possível observar que uma menor quantidade de pontos azuis (densidade básica observada) está à mostra. Isto significa que os valores estimados (pontos vermelhos) estão se sobrepondo a estes, indicando que as estimativas da densidade básica estão muito mais próximas das observadas.

O aumento significativo das medidas de precisão deve ser creditado a inclusão das variáveis: idade, diâmetro à altura do peito e altura total das árvores. Analisando parte da TABELA 5 pode-se verificar que o coeficiente de determinação corrigido foi igual a 66,03%, este coeficiente toma um valor moderado e condizente com estudos realizados por outros pesquisadores, porem inferiores quando comparados com resultados de THIERSCH (2002) estudando clones de *Eucalyptus sp.* ( $R^2 = 88\%$  e  $S_{yx} = 2,0\%$ ). O estudo indica que as observações se ajustam razoavelmente ao modelo linear construído; ou seja, a dependência linear da densidade básica da madeira em relação ao Pilodyn e as variáveis do povoamento explica em mais de 66% a variabilidade existente nos valores da densidade básica da madeira dentro do estudo.

## 6 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados observados no estudo pode-se concluir que:

- A utilização do Pilodyn demonstrou ser uma ferramenta valiosa no auxílio da determinação da densidade básica da madeira, pois apresentou diversas vantagens, como por exemplo, rapidez, facilidade em sua utilização e ainda por apresentar uma amostragem não destrutiva, resguardando assim o material genético para uma avaliação futura.
- Os modelos construídos demonstraram que a densidade básica da madeira variou inversamente com a profundidade de penetração da agulha do Pilodyn, ou seja, quanto menor a resposta frente à penetração da agulha do Pilodyn maior foi a densidade básica da madeira.
- A modelo construído para a predição da densidade básica da madeira em função das variáveis Pilodyn, idade, diâmetro à altura do peito e altura total das árvores mostrou ser mais preciso e mais estável em relação ao modelo em função somente do Pilodyn.
- O modelo criado em função das variáveis Pilodyn, idade, diâmetro à altura do peito e altura total das árvores, demonstra ser viável, podendo ser utilizado em classificações preliminares de árvores superiores, contribuindo para programas estratégicos da empresa.
- Portanto é de fundamental importância por parte da empresa, o desenvolvimento e a utilização de ferramentas práticas que possibilitem o aprimoramento sobre informações referentes à qualidade da madeira a fim de se reduzir os custos sobre estas determinações e assim melhorar a performance dos plantios comerciais de *Eucalyptus sp.* tornando as decisões futuras mais seguras e eficazes.

## 7 RECOMENDAÇÕES

De acordo com as conclusões apresentadas no estudo recomenda-se:

- Uma padronização da metodologia na utilização do Pilodyn dentro da empresa quanto: à posição (Norte, Sul, Leste, Oeste) das batidas com o equipamento, o número de árvores a serem amostradas por área de estudo, os períodos do ano para serem realizadas as batidas e também quanto às fases de seleção.
- A criação de modelos específicos para cada área de produção, horto, material genético e ambiente de produção.
- E ainda a utilização do Pilodyn em povoamentos de *Pinus sp.*

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERGER,R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. sob o efeito do espaçamento e da fertilização.** Santa Maria. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. 2000.

BRACELPA – Associação Brasileira de Celulose e Papel. **Desempenho do Setor em 2003.** Associação Brasileira de Celulose e Papel. 2003. Capturado em dezembro de 2003. <http://www.bracelpa.org.br>

GONZÁLEZ, E.R. **Transformação genética de *Eucalyptus grandis* e do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* via agrobacterium.** Piracicaba. Tese de Doutorado. ESALQ/USP. 2002. p. 5-7.

GREAVES, B.L., BORRALHOL,N.M.G., RAYMOND,C.A. **Use of a Pilodyn for Indirect Selection of Basic Density in *Eucalyptus nitens*.** Hobart. CRC for Temperate Hardwood Forestry. IUFRO. 1995. p. 106-109.

HANSEN,C.P. **Application of the pilodyn in Forest tree improvement.** Humlebaek. Danida Forest Seed Centre. Technical note nº 55. 2000. p. 1-7.

KOLLMANN,F. **Tecnología de la madera y sus aplicaciones.** Madrid. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiências y el Serviço de la Madera. 1959. p.359-360.

LÓPEZ,J.A., STAFFIERI,G.M. **Correlaciones genéticas entre pilodyn y densidad de la madera de *Pinus elliottii* var. *elliottii* em la mesopotamia Argentina.** Eldorado. INTA-FCF-MEYRNRYT. Novenas Jornadas Técnicas Forestales. 2002. p. 1-5.

PROCEQ. **Wood Tester PILODYN 6J-Forest for testing living trees.** Zurich. PROCEQ SA. 1999. p.4.

REZENDE,M.A., SAGLIETTI,J.R.C., CHAVES,R. **Variação da massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* aos 8 anos de idade em função de diferentes níveis de produtividade.** Piracicaba. IPEF-ESALQ/USP. Scientia Forestalis. 1998. nº53. p. 71-78.

SIF. SOCIEDADE DE INVESTIGAÇÕES FLORESTAIS. **Métodos de determinação da densidade da madeira.** Viçosa. Boletim Técnico Nº1. 1984. p.1-15.

SILVA,J.C. **Clonal variation in wood quality, growth and growth rhythm in young Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.): indirect assessment of wood density and lignin amount, estimation of quantitative genetic parameters and index selection for improved pulpwood.** Horsholm. Ph.D. thesis. The Royal Veterinary and Agricultural University. 1997.

THIERSCH,C.R. **Modelagem da densidade básica, do volume e do peso seco para plantios de clones de *Eucalyptus sp.*** Lavras. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras. 2002.

THIERSCH,C.R., SCOLFORO,J.R.S., KANEGAE JÚNIOR,H. **Predição e prognose da densidade básica da madeira, por classe diamétrica, em plantios de clones de *Eucalyptus sp.*** Lavras. Universidade Federal de Lavras. 48ª Reunião da RBRAS e 10ª SEAGRO. 2003. p. 860-864.

TRUGILHO,P.T., LIMA,J.T., MENDES,L.M. **Influência da idade nas características físico-químicas e antômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*.** Lavras. Revista Cerne Vol.2 Nº1. 1996. p.3-5.